·医学循证·

有氧运动对超重肥胖儿童执行功能影响的 Meta 分析

赵瑞[1]，陈乐琴[1*]，吴依妮[1]，李倩倩[2]

1.030000 山西省太原市，山西师范大学体育学院
2.100084 北京市，北京体育大学运动人体科学学院
*通信作者：陈乐琴，副教授；E-mail：448750937@qq.com

【摘要】 **背景** 研究证实，超重肥胖儿童执行功能与肥胖密切相关，并可能存在双向关联。有氧运动作为一种有效的干预手段，可有效促进其大脑发展和认知功能，尤其是执行功能，但改善效果的量化关系仍需要进一步探讨。**目的** 系统评价有氧运动对超重肥胖儿童执行功能相关指标干预效果。**方法** 检索中国知网、万方数据知识服务平台、中国生物医学文献数据库（CBM）、Cochrane Library、PubMed、Embase、Web of Science 数据库中有氧运动干预超重肥胖儿童执行功能的随机对照试验，检索时限从各数据库建库至 2023 年 7 月。依据 Cochrane 风险偏倚评估工具对纳入的文献进行质量评估，采用 RevMan 5.4 和 Stata 16.0 软件对结局指标进行 Meta 分析。**结果** 最终纳入 9 项随机对照试验，其中包括 940 例超重肥胖儿童。Meta 分析结果显示，单次有氧运动干预能够有效提高超重肥胖儿童的执行功能（*WMD*=-6.98，95%*CI*=-11.89~-2.07，*P*=0.005）；亚组分析结果显示，单次干预时长 <30 min 的有氧运动对超重肥胖儿童执行功能子成分的改善均无显著性差异（*WMD*=-0.84，95%*CI*=-9.37~7.68，*P*=0.85）；单次干预时长 >30 min 的有氧运动可改善超重肥胖儿童的抑制功能（*WMD*=-10.50，95%*CI*=-19.15~-1.85，*P*=0.02）。进行长期运动干预（干预周期为 8 周）时，与对照组相比，有氧运动可改善超重肥胖儿童干扰控制（*WMD*=-0.16，95%*CI*=-0.18~-0.14，*P*<0.000 01），对计划（*WMD*=4.20，95%*CI*=-8.34~16.73，*P*=0.51）、注意（*WMD*=0.41，95%*CI*=-12.08~12.91，*P*=0.95）、同步（*WMD*=3.93，95%*CI*=-8.22~16.08，*P*=0.53）、连续（*WMD*=2.48，95%*CI*=-9.18~14.14，*P*=0.68）的改善效果不明显。**结论** 单次长时间的有氧运动对超重肥胖儿童执行功能子成分有选择性积极影响，长周期固定频次、时间的有氧运动可以改善超重肥胖儿童干扰控制能力，但计划、注意、同步、连续方面未产生改善效果。

【关键词】 超重；肥胖症；儿童；有氧运动；执行功能；Meta 分析
【中图分类号】 R 589.25 R 395.9 【文献标识码】 A DOI：10.12114/j.issn.1007-9572.2023.0810

Meta-analysis of the Effects of Aerobic Exercise on Executive Function in Overweight and Obese Children

ZHAO Rui[1]，*CHEN Leqin*[1*]，*WU Yini*[1]，*LI Qianqian*[2]
1.School of Physical Education Shanxi Normal University，Taiyuan 030000，China
2.School of Sport Science，Beijing Sport University，Beijing 100084，China
**Corresponding author：CHEN Leqin，Associate professor；E-mail：448750937@qq.com*

【Abstract】 **Background** Studies have confirmed that executive function in overweight and obese children is closely related to obesity and may have a bidirectional association. Aerobic exercise，as an effective intervention，can effectively promote their brain development and cognitive function，especially executive function，but the quantitative relationship of the improvement effect still needs to be further explored. **Objective** To systematically evaluate the intervention effect of aerobic exercise on executive function-related indexes in overweight and obese children. **Methods** Randomized controlled trials of aerobic exercise interventions for executive function in overweight and obese children were searched in CNKI，Wanfang Data，CBM，Cochrane Library，PubMed，Embase，and Web of Science databases，and the timeframe for searching was from the establishment of each database to July 2023. The quality of the included literature was assessed according to the Cochrane Risk of

基金项目：山西省教育科学"十四五"规划（GH-220457）；山西师范大学研究生创新项目（2022XSY035）
引用本文：赵瑞，陈乐琴，吴依妮，等. 有氧运动对超重肥胖儿童执行功能影响的 Meta 分析［J］. 中国全科医学，2024. DOI：10.12114/j.issn.1007-9572.2023.0810.［Epub ahead of print］.［www.chinagp.net］
ZHAO R，CHEN L Q，WU Y N，et al. Meta-analysis of the effects of aerobic exercise on executive function in overweight and obese children［J］. Chinese General Practice，2024.［Epub ahead of print］.

Bias Assessment Tool, and Meta-analysis of outcome indicators was performed using RevMan 5.3 and Stata 16.0 software. **Results** Nine randomized controlled trials, including 940 overweight and obese children, were finally included. The results of Meta-analysis showed that a single session of aerobic exercise intervention was effective in improving the executive function of overweight and obese children (*WMD*=-6.98, 95%*CI*=-11.89 to -2.07, *P*=0.005). Subgroup analyses showed no significant differences in the improvement of any of the executive function subcomponents in overweight and obese children with a single intervention duration of less than 30 minutes of aerobic exercise (*WMD*=-0.84, 95%*CI*=-9.37 to 7.68, *P*=0.85); aerobic exercise with a single intervention duration longer than 30 minutes improved inhibitory function in overweight and obese children (*WMD*=-10.50, 95%*CI*=-19.15 to -1.85, *P*=0.02). When a long-term exercise intervention was carried out (the intervention period was 8 weeks), in contrast to the control group, the aerobic exercise improved interference control in overweight and obese children (*WMD*=-0.16, 95%*CI*=-0.18 to -0.14, *P*<0.000 01), on planning (*WMD*=4.20, 95%*CI*=-8.34 to 16.73, *P*=0.51), attention (*WMD*=0.41, 95%*CI*=-12.08 to 12.91, *P*=0.95), synchronization (*WMD*=3.93, 95%*CI*=-8.22 to 16.08, *P*=0.53), and continuity (*WMD*=2.48, 95%*CI*=-9.18 to 14.14, *P*=0.68) were not significantly improved. **Conclusion** Aerobic exercise for a single long period of time had a selective positive effect on executive function subcomponents in overweight and obese children, and aerobic exercise for a long period of time with a fixed frequency and duration improved interference control in overweight and obese children, but did not produce an improvement in planning, attention, synchronization, or continuity.

【Key words】 Overweight; Obesity; Child; Executive function; Aerobic exercise; Meta-analysis

儿童的超重肥胖问题已成为全球性的健康问题[1]。近几十年来，许多国家儿童的超重、肥胖患病率持续上升[2]。有研究通过模拟儿童肥胖到成年的生长轨迹发现，肥胖的早期发展可以作为成年期肥胖的重要预测因素[3]。现有证据表明儿童的超重、肥胖与心理健康、学业成绩[4]和认知功能，尤其是执行功能密切有关[5]。执行功能作为高级认知过程，是大脑多种认知功能的集合，本质是能够加工、控制与协调抑制、工作记忆、认知灵活性、推理、问题解决和计划等认知过程[6]。肥胖相关生物学家发现肥胖通过炎症和食欲调节激素介导的途径导致认知功能下降[7-8]，并且这种关联可能是双向的，不良的执行功能可能通过降低自我调节能力而增加肥胖风险。因此，解决超重肥胖儿童执行功能问题对儿童健康至关重要。

当前，大量研究证实了规律的有氧运动对超重肥胖儿童的有益作用，包括改善身体素质[9]、运动表现[10]、认知能力[11-12]及促进认知神经发育[13]等。在有氧运动对超重肥胖执行功能影响深层次研究中发现，有氧运动可通过改变大脑结构，重塑白质的完整性，增加总灰质和小脑灰质的体积，提高大脑整体性神经回路效率来改善超重儿童的执行功能[14-16]。此外，有氧运动可减少损害超重肥胖儿童执行功能的与肥胖相关的途径[17]，进一步控制体重。有氧运动对超重肥胖儿童执行功能干预效果存在一定的量效关系。前期研究表明，增加运动时间、运动强度剂量对超重肥胖儿童的执行功能影响的结论尚不一致[18-19]，甚至有研究持相反结论[20-21]。

鉴于有氧运动与超重肥胖儿童执行功能关系的复杂性、有氧运动与执行功能的剂量关系的争议性，本研究通过Meta分析法对已有的研究结果进行客观系统评价，以期为预防和改善超重肥胖儿童执行功能提供科学的运动方案，为有氧运动在超重肥胖儿童执行功能领域的研究提供循证依据。

1 资料和方法

1.1 文献检索

本文遵循系统综述和Meta分析的首选项原则，计算机检索数据库中国知网、中国生物医学文献数据库（CBM）、万方数据知识服务平台、Cochrane Library、PubMed、Embase和Web of Science。检索时限从各数据库建库至2023年7月。英文检索词主要包括："Aerobic exercise""Overweight""Obesity""Child"和"Executive Function"等。中文检索词包括："有氧运动""超重""肥胖""儿童"和"执行功能"等。文献检索策略以PubMed数据库为例，见表1。

1.2 纳入及排除标准

1.2.1 纳入标准：（1）研究设计，纳入的研究必须为随机对照试验；（2）研究对象，超重肥胖儿童；（3）干预措施，试验组超重肥胖儿童以有氧运动作为运动干预的唯一干预手段，对照组超重肥胖儿童采用不同方案的有氧运动或空白对照；（4）结局指标，执行功能（及其子功能包括抑制功能、刷新功能、转换功能）、认知能力及儿童日常生活中的执行功能。

1.2.2 排除标准：（1）非随机对照试验；（2）无法获取全文提取出有效的结局数据；（3）无法提取出有效的结局数据；（4）重复发表；（5）会议文献。

1.3 数据提取

由两名研究人员对所纳入的文章进行全文详细阅

表 1 PubMed 数据库文献检索策略

Table 1 Search strategy for PubMed database

检索步骤	检索式
#1	aerobic exercise［Mesh］
#2	aerobic training［Title/Abstract］ OR Physical Activity［Title/Abstract］ OR Physical Exercise［Title/Abstract］ OR Acute Exercise［Title/Abstract］ OR Exercise，Isometric［Title/Abstract］ OR endurance exercise［Title/Abstract］ OR Treadmill［Title/Abstract］ OR walking［Title/Abstract］ OR Jogging［Title/Abstract］ OR Swimming［Title/Abstract］ OR Dancing［Title/Abstract］ OR Cycling［Title/Abstract］ OR Taijiquan［Title/Abstract］
#3	#1 OR #2
#4	Obesity［Mesh］
#5	Overweight［Mesh］
#6	Obese［Title/Abstract］ OR Body mass index［Title/Abstract］ OR body fat［Title/Abstract］ OR excess weight［Title/Abstract］
#7	#4 OR #5 OR #6
#8	Child［Title/Abstract］
#9	Executive Function［Mesh］
#10	Executive Control［Title/Abstract］ OR Cognitive Function［Title/Abstract］ OR cognitive performance［Title/Abstract］ OR inhibitory control［Title/Abstract］ OR Shifting［Title/Abstract］ OR working memory［Title/Abstract］ OR Planning［Title/Abstract］ OR cognitive function［Title/Abstract］ OR Refresh function［Title/Abstract］ OR cognitive flexibility［Title/Abstract］ OR Reasoning［Title/Abstract］ OR problem solving［Title/Abstract］
#11	#9 OR #10
#12	randomized controlled trial［Publication Type］ OR randomized［Title/Abstract］ OR placebo［Title/Abstract］
#13	#3 AND #7 AND #8 AND #11 AND #12

读，提取所需指标，包括第一作者姓名及发表年份、样本量、干预方案及结局指标等。

1.4 文献质量评估

由 2 名研究员依据 Cochrane 风险偏倚评估工具对纳入的文献进行质量评估。包括以下 6 个条目：随机分配隐藏、分配方案隐藏、盲法、结果数据的完整性、选择性报告研究结果、其他偏倚来源。根据标准按照低偏倚风险、高偏倚风险和偏倚风险不详 3 个等级对纳入文献进行质量评价。若 2 名研究人员评估结果不一致，则由第 3 名研究人员参与判定。

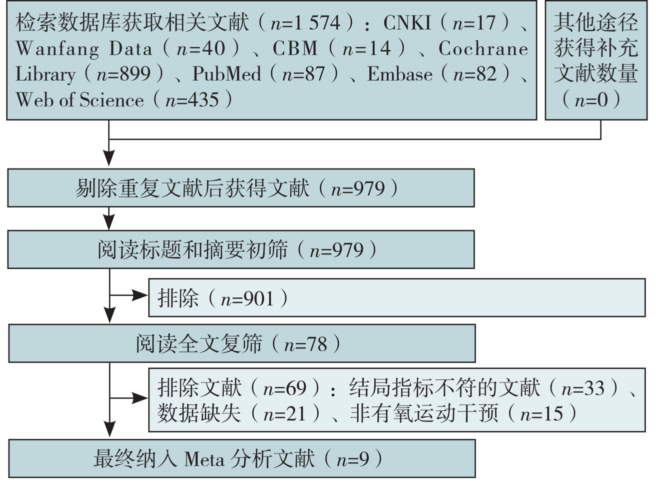
1.5 统计学分析

采用 Stata 15.0 和 Revan 5.4 软件进行 Meta 分析。文章结局指标的数据均为连续性变量，当测量工具和单位完全相同时采用加权均值差（*WMD*），反之采用标准化均数差（*SMD*）消除量纲对结果进行合并，采用 95%*CI* 作为效应量指标。异质性检验采用 χ^2 检验（检验水准 P=0.05），并计算 I^2 和 P 值评估各研究间异质性的大小，若 I^2<50% 且 $P \geq 0.1$ 说明纳入的研究异质性较小，故采用固定效应模型，反之，异质性较大采用随机效应模型（$I^2 \geq 50\%$ 且 P<0.1），并进一步查找异质性的来源。对结局指标绘制漏斗图并进行 Egger′s 检验评价文献发表偏倚。以 P<0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 文献筛选流程及结果

初始检索中英文数据库共获取相关文献 1 574 篇，剔除重复文献后剩余 979 篇，进一步阅读文章标题和摘要后剩余 78 篇，最终纳入 9 篇文献[18-19，21-27]。文献具体筛选流程图见图 1。



注：CNKI= 中国知网，Wangfang Data= 万方数据知识服务平台，CBM= 中国生物医学文献数据库。

图 1 文献筛选流程图

Figure 1 Literature screening flow chart

2.2 纳入文献基本信息

纳入的 9 篇文献中包括 7 篇英文文献[18-19，21-27]，2 篇中文文献[23-24]，共 940 例超重肥胖儿童。针对文献的结局指标，其中 3 篇文献[22-24]采用 Flanker 工具报告了抑制控制，2 篇文献[23-24]采用 N-Back，More-odd shifting 工具报告了工作记忆和转换功能。2 篇文献采用 Stroop 工具报告了干扰控制[18，25]，1 篇文献[26]采用威斯康星卡片分类测验（Wisconsin Card Sorting Test，WCST）工具报告了有氧运动对超重肥胖儿童执行功能，2 篇文献采用认知评估系统（Cognitive Assessment System，CAS）工具报告了执行功能，1 篇文献[27]采用注意力测验的修订版（d2 Test of Attention-Revised，d2-R test）工具报告了有注意力。纳入研究的基本特征见表 2

2.3 纳入研究方法学质量评价结果

采用改良的 Jadad 量表对纳入文献的 7 个方面进行质量方法学评估。在随机分配方法方面，9 篇文献[18-19，21-27]描述了产生随机分配序列的方法，非随机分配为高风险，未描述为不清楚；在分配方案隐藏方面，2 篇文

表 2 纳入研究的基本特征

Table 2 Basic characteristics of the included studies

第一作者	发表年份（年）	样本量（T/C）	年龄（岁）（T/C）	干预方案	周期、频率、时长	结局指标
KRAFFT[22]	2014	43（24/19）	T：9.7±0.8 C：9.9±0.9	有氧运动（捉人、跳绳）：HR>150 次 /min	8 个月，5 d/ 周，40 min/ 次	①
谢丹丹[23]	2020	80（60/20）	T#：9.65±0.67 T##：9.75±0.64 T###：9.75±0.64 C：9.90±0.72	篮球 +"8"字跳绳：5 min 热身与拉伸→ 10 min（HR 130~150 次 /min）→ 2 min 休息→ 10 min（HR 130~150 次 /min）→ 2 min 休息	一次性运动：20 min/ 次、30 min/ 次、40 min/ 次	①②③
张廷剑[24]	2019	80（40/40）	T#：10.20±0.69 T##：10.40±0.50 C#：10.30±0.73 C###：10.50±0.51	篮球 +"8"字跳绳：热身与拉伸→基本部分（HR 130~150 次 /min）→总结与放松	一次性运动：20 min/ 次、40 min/ 次	①②③
CHOU[25]	2020	84（44/40）	T：12.30±0.66 C：12.08±0.69	运动游戏：10 min 热身→ 30 min 运动游戏（HR>150 次 /min）	8 周，3 d/ 周，40 min/ 次	④
CHOU[18]	2022	108（37、38/33）	T#：11.37±0.58 T###：11.00±0.64 C：11.32±0.54	竞争性团队游戏（跑步、跳绳、改良足球、棒球、篮球）：10 min 热身→ 20 min/40 min（60%~69%）HRmax → 10 min 放松	8 周，5 d/ 周，20 min/ 次或 40 min/ 次	④
CHEN[26]	2016	50（25/25）	T：12.64±0.70 C：12.84±0.75	5 min 热身→ 30 min 中等强度（60%~70%）HRmax → 5 min 放松	3 个月，4d/ 周，40min/ 次	⑤
DAVIS[21]	2007	94（33、32/29）	9.20±0.84	5 min 热身→ 20 min/40 min（HR>150 次 /min）→ 5 min 热身	15 周，5 d/ 周，20 min/ 次或 40 min/ 次	⑥
DAVIS[19]	2011	171（55、56/60）	9.3±1.0	5 min 热身→ 20 min/40 min（HR>150 次 /min）→ 5 min 热身	13 周，5 d/ 周，20 min/ 次或 40 min/ 次	⑥
GALLOTTA[27]	2015	230（78、83/69）	8~11	协调训练：15 min 热身→ 30 min（5<RPE<8 身体活动）→ 15 min 热身	60 min/ 次，5 个月	⑦

注：HR= 心率，HRmax= 最大心率，RPE= 运动强度；T 为有氧运动训练组，T# 为 20 min 试验组，T## 为 30 min 试验组，T### 为 40 min 试验组；C 为对照组，C# 为 20 min 对照组，C### 为 40 min 对照组；结局指标：① Flanker，② N-Back，③ More-odd shifting，④ Stroop，⑤ WCST，⑥ CAS，⑦ d2-R test。

献[19，22]严格执行随机分配的结果，反之为高风险，无充足信息判定为不清楚；在盲法方面，由于干预研究的特殊性，无法对受试者和研究者同时做到双盲法，纳入 9 篇文献[18-19，21-27]的风险均为不清楚；在结果数据的完整性方面，8 篇文献[19，21-27]完整的报告各指标的数据，结局指标的缺失不影响干预效应，反之为高风险，未明确报道为不清楚；在选择性研究报告结果方面，8 篇文献[18-19，21，23-27]可获得研究方案或发表的报告报道了所期望的结果，描述为低风险，反之为高风险，无充足信息判定为不清楚；其他偏倚风险方面，1 篇文献[18]样本量较小，描述为高风险。具体的风险偏倚评估见图 2、3。

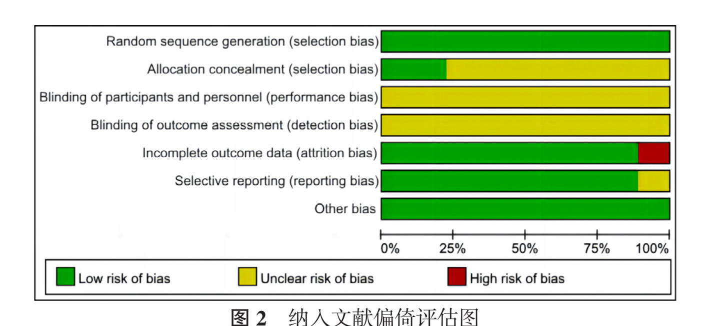


图 2 纳入文献偏倚评估图

Figure 2 Bias assessment chart of the included literature

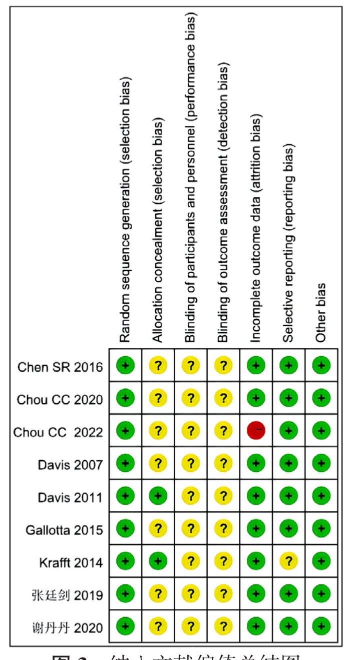


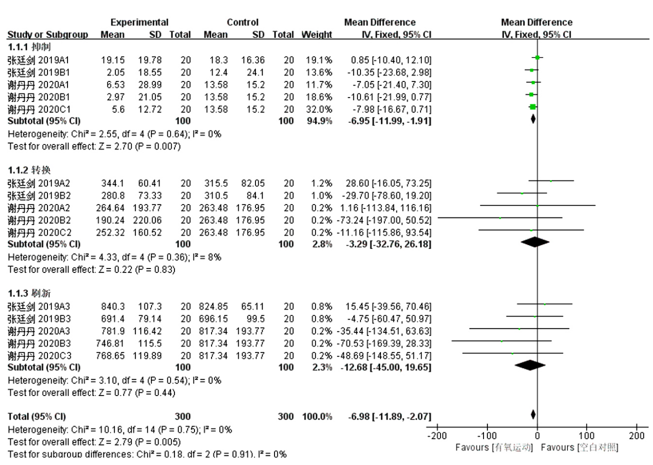
图 3 纳入文献偏倚总结图

Figure 3 Summary graph of bias in the included literature

2.4 Meta 分析结果

2.4.1 有氧运动对超重肥胖儿童执行功能的影响：纳入的 9 篇文献中，3 篇文献[22-24]详细报道了有氧运动

对超重肥胖儿童执行功能能力的影响。其中 2 篇对执行功能的子功能进行了测量[23-24]，研究间的异质性较低（I^2=0，P=0.75），采用固定效应模型进行 Meta 分析，结果显示，与对照组相比，单次有氧运动在提高超重肥胖执行功能方面有显著性差异（WMD=-6.98，95%CI=-11.89~-2.07，P=0.005），见图 4。



注：A 为 20 min 试验组，B 为 40 min 试验组，C 为 30 min 试验组。

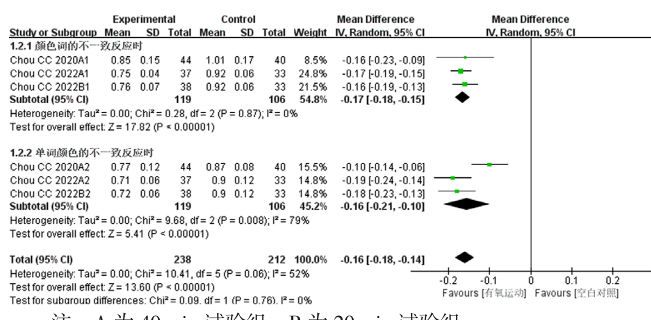
图 4 有氧运动对超重肥胖儿童执行功能影响的森林图

Figure 4 Forest plot of the effects of aerobic exercise on executive function in overweight and obese children

基于目前的结果和纳入文献的特点，对执行功能进行亚组分析评估干预时长对结果的影响，亚组分析结果显示单次 20 min（干预时长 <30 min）的有氧运动对超重肥胖儿童执行功能的子成分改善效果不明显；单次 40 min（干预时长 >30 min）的有氧运动可改善超重肥胖儿童的抑制功能（WMD=-10.50，95%CI=-19.15~-1.85，P=0.02），其他子成分的 Meta 分析结果见表 3。由于 Krafft 与其他两篇测量指标不同，不进行合并分析，对结果进行定性描述发现有氧运动对超重肥胖儿童执行功能有明显的改善作用[22]。

2.4.2 有氧运动对超重肥胖儿童干扰控制能力的影响：2 篇文献[18, 25]采用 Stroop 测量工具报道了颜色词不一致的研究结果，各研究的异质性较高（I^2=52%，P=0.06），采用随机效应模型进行 Meta 分析，结果显示，与对照组相比，有氧运动能够有效改善超重肥胖儿童的干扰控制能力（WMD=-0.16，95%CI=-0.18~-0.14，P<0.000 01），见图 5。

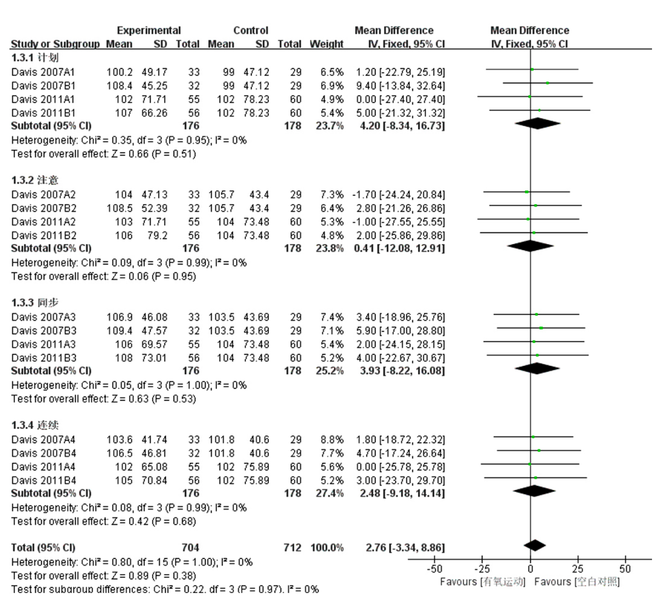
2.4.3 采用 CAS 评估有氧运动对超重肥胖儿童执行功能的影响：2 篇文献[19, 21]采用 CAS 测量工具从计划、注意、同步、连续 4 方面报道了有氧运动对超重肥胖儿童执行功能的影响，异质性较低（I^2=0，P=1.00），采用固定效应模型进行 Meta 分析，结果显示，相较于对照组，有氧运动对超重肥胖儿童计划、注意、同步、连续的改善效果不明显（WMD=2.76，95%CI=-3.34~8.86，P=0.38），见图 6。根据干预时长进行亚组分析探讨有氧运动的剂量效益，结果显示，中等强度的长期运动干预低剂量组与高剂量组对计划、注意、同步、连续 4 方面的影响不显著（P>0.05），见表 4。



注：A 为 40 min 试验组；B 为 20 min 试验组

图 5 有氧运动对超重肥胖儿童干扰控制能力影响的森林图

Figure 5 Forest plot of the effect of aerobic exercise on interference control in overweight and obese children



注：A 为 20 min 低剂量组，B 为 40 min 高剂量组。

图 6 有氧运动对超重肥胖儿童执行功能影响的森林图（CAS）

Figure 6 Forest plot of the effects of aerobic exercise on executive function in overweight and obese children（CAS）

2.4.4 采用 WCST、d2-R test 评估有氧运动对超重肥胖儿童执行功能的影响：采用 WCST 和 d2-R test 测试各有 1 篇文献，仅对结果定性分析。CHEN 等[26]研究发现，3 个月的有氧运动除改善肥胖和体质状况外，还有利于提高执行功能的子成分转换能力。GALLOTTA 等[27]研究发现，5 个月学校为基础的有氧体力活动显著改善肥胖儿童的注意力。

2.5 发表偏倚分析

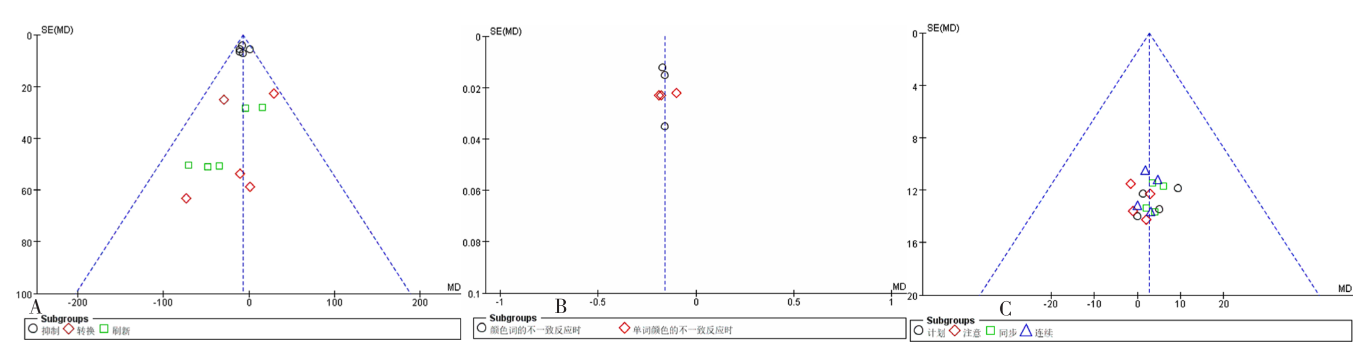
由于纳入文献较少，仅对包含执行功能和干扰控制、

CAS 测量工具的文献绘制漏斗图并进行 Egger's 偏倚检验。见图 7A、B、C。Egger's 检验结果显示，执行功能：t=-3.27，P=0.006，存在一定的发表偏倚，其来源可能是由于样本量较小造成的；干扰控制：t=-68.48，P<0.001，存在一定的发表偏倚，可能是采取方法不同而呈现的偏差；CAS 执行功能：t=1.98，P=0.068，不存在发表偏倚。

3　讨论

儿童超重、肥胖已经成为一种全球的流行病[28]。肥胖作为一种慢性疾病，会导致生活质量下降和增加过早死亡的风险。除此之外，还是认知能力受损、认知能力加速下降和痴呆的重要预测因素[29]。在这种情况下，许多研究探讨了超重肥胖与执行功能之间的可能联系[30]。执行功能通常被认为是更高的认知过程，能够实现目标导向的行动，在人们的日常生活和心理健康中起着极其重要的作用。在抵制坏习惯、自动行为和诱惑、实现目标或适应冲突情况以及保持健康体重方面发挥重要作用[31]。研究发现执行功能下降是引起儿童发生超重肥胖的重要原因，执行功能的差异可能会影响生活习惯，使个人容易超重。较低的执行功能可能与一些功能失调的饮食行为显著相关[8，32]。大量研究证实了干预训练对肥胖儿童执行功能的有益作用[33-36]，其中有氧运动作为训练超重肥胖儿童执行功能的有效手段被广泛使用[37]。本研究通过检索国内外相关文献，共纳入 9 篇随机对照试验，包括 940 例超重肥胖儿童。Meta 分析结果显示，单次短时有氧运动对超重肥胖儿童执行功能的改善效果具有选择性，但单次短时间的运动干预在抑制、转换、刷新方面并未产生明显的效果，而单次长时间或长周期固定频次与时间的有氧运动对执行功能有较好的改善作用。

单次短时有氧运动对超重肥胖儿童执行功能选择性的改善作用，可能与纳入研究运动训练中各项目的种类和练习中切换的频次有关，这与 SHUKLA[38] 的研究结果一致。对其机制的研究发现，大脑额叶，包括运动皮质、运动前皮质和前额叶皮质，主导着执行功能，与抑制控制相关的大脑区域位于右侧额下回，与工作记忆相关的大脑区域位于左侧运动前皮质，与认知灵活性相关的大脑区域位于双侧额叶皮质，不同的锻炼计划刺激不同的大脑区域，对子成分的影响不同[39]。此外，发现长时间有规律的有氧运动可以改善抑制功能，这与既往研究一致[33]。在采用 Stroop 测量工具纳入的 2 篇文献中，有氧运动干预对颜色词不一致的改善效果明显，即有氧运动能有效改善超重肥胖儿童干扰控制的能力。ZHANG 等[12] 采用 Stroop 测量工具发现急性高强度间歇运动和高强度连续运动很可能是促进超重和肥胖儿童认知功能和抑制功能的有效的运动方式，印证了本文的研究结果。在 WCST 测验中，CHEN 等[26] 以中等强度的快走、爬楼梯、有氧舞蹈、跳绳为运动方案，经过 3 个月的运动干预后统计发现 WCST 中 NRPE 非持续性错误率降低。郭艳花等[33] 以中等强度的游戏、跳绳、跑步、搏击操为运动方案经过 5 周的运动干预后统计发现 WCST 中的 13 个指标进行测试发现成绩均显著提高，与纳入研究结果一致。此外，身体活动对超重肥胖儿童注意力有积极的改善作用。GALLOTTA 等[27] 在干预 5 个月后，对儿童进行了 d2-R 注意力测试，结果表明，参与者的注意力表现受时间的显著影响且协调训练干预对超重肥胖儿童注意力的改善效果最显著。CHOU 等[25] 在存在连续但快速变化的声学和光学刺激的情况下，采用决心测试的方法发现，连续 8 周，每周 3 次进行以棒球、篮球为主的运动游戏干预可以提高超重肥胖儿童注意功能方面的表现。而 DAVIS 等[21] 通过 CAS 测试指标进行组间比较发现，同样运动强度不同时长剂量的有氧运动对 CAS 各测试指标影响效果不显著，本研究亚组分析结果与之一致。进一步分析发现，这可能与研究的运动方式有关，后期可进一步探讨改善超重肥胖儿童注意力的最佳运动方式。另有研究发现，有氧运动在改善认知方面存在动态变化[40]，这可能与有氧运动与超



注：A 为执行功能发表偏倚漏斗图，B 为干扰控制发表偏倚漏斗图，C 为执行功能（CAS）发表偏倚漏斗图

图 7　不同结局指标的漏斗图

Figure 7　Funnel plots for different outcome indicators

表 3 有氧运动对超重肥胖儿童执行功能影响的亚组分析
Table 3 Subgroup analysis of the effects of aerobic exercise on executive function in overweight and obese children

亚组分析		异质性检验结果		效应模型	Meta 分析结果	
		I^2 值	P 值		WMD（95%CI）	P 值
单次运动干预时长 <30 min						
执行功能	抑制	0	0.40	固定	−2.16（−11.01~6.69）	0.63
	转换	0	0.66	固定	25.00（−16.62~66.63）	0.24
	刷新	0	0.38	固定	133.69（85.60~181.78）	0.89
单次运动干预时长 >30 min						
执行功能	抑制	0	0.98	固定	−10.50（−19.15~−1.85）	0.02
	转换	0	0.52	固定	−35.58（−81.06~9.90）	0.13
	刷新	23%	0.26	固定	112.63（64.09~161.17）	0.41

表 4 有氧运动对超重肥胖儿童执行功能影响的亚组分析
Table 4 Subgroup analysis of the effects of aerobic exercise on executive function in overweight and obese children

亚组分析		异质性检验结果		效应模型	Meta 分析结果	
		I^2 值	P 值		WMD（95%CI）	P 值
干预周期≥ 13 周，20 min 低剂量组						
执行功能	计划	0	0.95	固定	0.68（−17.37~18.73）	0.87
	注意	0	0.97	固定	−1.41（−18.59~15.78）	0.75
	同步	0	0.94	固定	2.81（−14.19~19.80）	0.89
	连续	0	0.91	固定	1.10（−14.95~17.16）	0.85
干预周期≥ 13 周，40 min 高剂量组						
执行功能	计划	0	0.81	固定	7.47（−9.95~24.89）	0.40
	注意	0	0.97	固定	2.46（−15.75~20.67）	0.79
	同步	0	0.92	固定	5.09（−12.28~22.47）	0.57
	连续	0	1.00	固定	4.01（−12.94~20.97）	0.64

重肥胖儿童执行功能的障碍程度有关，而有针对性的有氧运动方式仍需要进一步研究。

有氧运动对超重肥胖儿童脑功能和执行功能的影响。LOGAN 等[37]将超重肥胖儿童随机分配到身体活动干预组和对照组，并完成操纵抑制控制的任务，通过评估任务表现和神经电干预前后变化量发现，9 个月的身体活动干预可以保持神经电振幅预防其下降，从而证明了身体活动干预对肥胖儿童的认知和大脑健康的益处。长期规律的有氧运动会引起大脑结构的变化，导致脑细胞和有助于神经可塑性的分子发生变化，释放神经营养因子，海马回中的神经元可以获得足够的营养，以增加其体积，并最终加强记忆和认知功能[41-42]。研究发现，短时间中等强度的运动对执行功能的大脑激活模式形成了积极的变化，导致儿童在完成功能性任务时双侧前额叶激活水平增加，表明短期运动干预可以影响儿童的执行功能和潜在的神经网络[19]。短期运动会导致神经递质（多巴胺、血清素）、激素（去甲肾上腺素、生长激素）和其他化学物质的立即释放。本研究结果显示，短时中等强度有氧运动对执行能力具有改善作用，与既往研究一致[43-44]。

文章存在一定的局限性：（1）纳入研究的文献样本量较小，可能对结果产生影响；（2）纳入的有氧运动干预后缺少随访研究，有氧运动干预与执行功能间是否存在延时效应不清楚。（3）纳入研究仅为中、英文文献，可能产生结果的偏差。

综上所述，有氧运动对超重肥胖儿童执行功能的改善具有积极作用，单次有氧运动干预对执行功能的子成分具有选择性改善作用。通过对单次有氧运动干预时长亚组分析发现，对比发现单次时长 >30 min 的运动干预优于单次时长 <30 min 运动干预。此外发现长周期固定频次与时间的有氧运动可以改善超重肥胖儿童干扰控制能力，但计划、注意、同步、连续方面未产生改善效果。本研究通过 Meta 分析的方法，整合了大量独立研究的数据，提高了研究结论的可靠性和普遍性。相比于单一研究，Meta 分析能够提供更为精确的效应量估计，为未来相关研究的假设提出和研究设计提供了坚实的基础。在理论层面上，该研究丰富了执行功能的研究领域，特别是在儿童肥胖问题上。从实践角度来看，本研究指出有氧运动作为一种无需药物的干预方式，可能对改善超重肥胖儿童的执行功能有积极作用，为教育工作者、心理健康专业人员和家长提供了一种简便、低成本且可持续的干预策略。总之，本研究不仅强化了有氧运动在促进儿童身心健康方面的重要性，而且提供了一个实际可行的方案，以应对全球儿童肥胖带来的挑战，这对于未来的健康促进和疾病预防工作具有深远的意义。

作者贡献：赵瑞负责论文的选题、设计及撰写者，对文章整体负责；陈乐琴负责论文评估、思路的指导；吴依妮负责资料搜集、数据的整理者；李倩倩负责表格的整理。

本文无利益冲突。

赵瑞：https://orcid.org/0009-0000-7752-074X
陈乐琴：https://orcid.org/0000-0002-3910-0514
吴依妮：https://orcid.org/0009-0005-9486-011X
李倩倩：https://orcid.org/0009-0002-4273-6385

参考文献

[1] WANG Y F，MIN J，KHURI J，et al. A systematic examination of the association between parental and child obesity across countries [J]. Adv Nutr，2017，8（3）：436-448. DOI：10.3945/an.116.013235.

[2] HONG Y，ULLAH R，WANG J B，et al. Trends of obesity and overweight among children and adolescents in China [J]. World J Pediatr，2023，19（12）：1115-1126. DOI：10.1007/s12519-023-00709-7.

[3] WARD Z J，LONG M W，RESCH S C，et al. Simulation of growth trajectories of childhood obesity into adulthood [J]. N Engl J Med，

2017，377（22）：2145-2153. DOI：10.1056/NEJMoa1703860.
［4］WATSON A，D'SOUZA N J，TIMPERIO A，et al. Longitudinal associations between weight status and academic achievement in primary school children［J］. Pediatr Obes，2023，18（1）：e12975. DOI：10.1111/ijpo.12975.
［5］LIKHITWEERAWONG N，KHORANA J，BOONCHOODUANG N，et al. Association between executive function and excess weight in pre-school children［J］. PLoS One，2022，17（10）：e0275711. DOI：10.1371/journal.pone.0275711.
［6］ANDERSON P J，REIDY N. Assessing executive function in preschoolers［J］. Neuropsychol Rev，2012，22（4）：345-360. DOI：10.1007/s11065-012-9220-3.
［7］MILLER A L，LEE H J，LUMENG J C. Obesity-associated biomarkers and executive function in children［J］. Pediatr Res，2015，77（1/2）：143-147. DOI：10.1038/pr.2014.158.
［8］LAURENT J S，WATTS R，ADISE S，et al. Associations among body mass index，cortical thickness，and executive function in children［J］. JAMA Pediatr，2020，174（2）：170-177. DOI：10.1001/jamapediatrics.2019.4708.
［9］MOLINA-GARCIA P，MORA-GONZALEZ J，MIGUELES J H，et al. Effects of exercise on body posture，functional movement，and physical fitness in children with overweight/obesity［J］. J Strength Cond Res，2020，34（8）：2146-2155. DOI：10.1519/JSC.0000000000003655.
［10］BARROS W M A，DA SILVA K G，SILVA R K P，et al. Effects of overweight/obesity on motor performance in children：a systematic review［J］. Front Endocrinol，2021，12：759165. DOI：10.3389/fendo.2021.759165.
［11］DROLLETTE E S，HILLMAN C H. Walking effects on memory in children：implications for individual differences in BMI［J］. Ment Health Phys Act，2020，18：100317. DOI：10.1016/j.mhpa.2020.100317.
［12］ZHANG L G，WANG D S，LIU S W，et al. Effects of acute high-intensity interval exercise and high-intensity continuous exercise on inhibitory function of overweight and obese children［J］. Int J Environ Res Public Health，2022，19（16）：10401. DOI：10.3390/ijerph191610401.
［13］MEIJER A，KÖNIGS M，POUWELS P J W，et al. Effects of aerobic versus cognitively demanding exercise interventions on brain structure and function in healthy children-Results from a cluster randomized controlled trial［J］. Psychophysiology，2022，59（8）：e14034. DOI：10.1111/psyp.14034.
［14］路毅，邓文冲. 不同运动方式对大脑结构及认知功能的调节作用及差异［J］. 中国组织工程研究，2021，25（20）：3252-3258.
［15］杨远都，李佑发，王思佳，等. 有氧运动改善儿童执行功能研究进展［J］. 中国预防医学杂志，2020，21（1）：116-120. DOI：10.16506/j.1009-6639.2020.01.025.
［16］王琛，冷文武，王志鹏，等. 12 周有氧运动对超重儿童抑制控制功能的影响［J］. 中国康复理论与实践，2022，28（6）：684-689. DOI：10.3969/j.issn.1006-9771.2022.06.009.
［17］MILLER A L. Neurocognitive processes and pediatric obesity interventions：review of current literature and suggested future directions［J］. Pediatr Clin North Am，2016，63（3）：447-457. DOI：10.1016/j.pcl.2016.02.006.
［18］CHOU C C，KAO S C，PAN C C，et al. Cognitively engaging movement games improve interference control and academic performance in overweight children：a randomized control trial［J］. Scand J Med Sci Sports，2023，33（4）：521-534. DOI：10.1111/sms.14264.
［19］DAVIS C L，TOMPOROWSKI P D，MCDOWELL J E，et al. Exercise improves executive function and achievement and alters brain activation in overweight children：a randomized，controlled trial［J］. Health Psychol，2011，30（1）：91-98. DOI：10.1037/a0021766.
［20］TOMPOROWSKI P D，DAVIS C L，LAMBOURNE K，et al. Task switching in overweight children：effects of acute exercise and age［J］. J Sport Exerc Psychol，2008，30（5）：497-511. DOI：10.1123/jsep.30.5.497.
［21］DAVIS C L，TOMPOROWSKI P D，BOYLE C A，et al. Effects of aerobic exercise on overweight children's cognitive functioning：a randomized controlled trial［J］. Res Q Exerc Sport，2007，78（5）：510-519. DOI：10.1080/02701367.2007.10599450.
［22］KRAFFT C E，SCHWARZ N F，CHI L X，et al. An 8-month randomized controlled exercise trial alters brain activation during cognitive tasks in overweight children［J］. Obesity，2014，22（1）：232-242. DOI：10.1002/oby.20518.
［23］谢丹丹. 运动干预对超重肥胖小学生执行功能影响的实验研究［D］. 荆州：长江大学，2020.
［24］张廷剑. 不同时间中等强度有氧运动对超重小学生执行功能的影响研究［D］. 荆州：长江大学，2019.
［25］CHOU C C，CHEN K C，HUANG M Y，et al. Can movement games enhance executive function in overweight children? A randomized controlled trial［J］. J Teach Phys Educ，2020，39（4）：527-535. DOI：10.1123/jtpe.2019-0165.
［26］CHEN S R，TSENG C L，KUO S Y，et al. Effects of a physical activity intervention on autonomic and executive functions in obese young adolescents：a randomized controlled trial［J］. Health Psychol，2016，35（10）：1120-1125. DOI：10.1037/hea0000390.
［27］GALLOTTA M C，EMERENZIANI G P，IAZZONI S，et al. Impacts of coordinative training on normal weight and overweight/obese children's attentional performance［J］. Front Hum Neurosci，2015，9：577. DOI：10.3389/fnhum.2015.00577.
［28］MARTINCHIK A N，LAIKAM K E，KOZYREVA N A，et al. Prevalence of overweight and obesity in children［J］. Vopr Pitan，2022，91（3）：64-72. DOI：10.33029/0042-8833-2022-91-3-64-72.
［29］MA W B，ZHANG H，WU N，et al. Relationship between obesity-related anthropometric indicators and cognitive function in Chinese suburb-dwelling older adults［J］. PLoS One，2021，16（10）：e0258922. DOI：10.1371/journal.pone.0258922.
［30］FERNANDES A C，VIEGAS Â A，LACERDA A C R，et al. Association between executive functions and gross motor skills in overweight/obese and eutrophic preschoolers：cross-sectional study［J］. BMC Pediatr，2022，22（1）：498. DOI：10.1186/

s12887-022-03553-2.

[31] REYES S，PEIRANO P，PEIGNEUX P，et al. Inhibitory control in otherwise healthy overweight 10-year-old children［J］. Int J Obes（Lond），2015，39（8）：1230-1235. DOI：10.1038/ijo.2015.49.

[32] YANG Y K，SHIELDS G S，GUO C，et al. Executive function performance in obesity and overweight individuals：a meta-analysis and review［J］. Neurosci Biobehav Rev，2018，84：225-244. DOI：10.1016/j.neubiorev.2017.11.020.

[33] 郭艳花，陈平. 有氧运动综合干预对肥胖儿童认知功能的积极影响: 1H-MRS及事件相关电位研究的探索[J]. 中国体育科技，2015，51（4）：79-85. DOI：10.16470/j.csst.201504011.

[34] MIGUELES J H，MARTINEZ-NICOLAS A，CADENAS-SANCHEZ C，et al. Activity-rest circadian pattern and academic achievement，executive function，and intelligence in children with obesity［J］. Scand J Med Sci Sports，2021，31（3）：653-664. DOI：10.1111/sms.13862.

[35] LUIS-RUIZ S，SÁNCHEZ-CASTAÑEDA C，GAROLERA M，et al. Influence of executive function training on BMI，food choice，and cognition in children with obesity：results from the TOuCH study［J］. Brain Sci，2023，13（2）：346. DOI：10.3390/brainsci13020346.

[36] MOLINA-GARCIA P，PLAZA-FLORIDO A，MORA-GONZALEZ J，et al. Role of physical fitness and functional movement in the body posture of children with overweight/obesity［J］. Gait Posture，2020，80：331-338. DOI：10.1016/j.gaitpost.2020.04.001.

[37] LOGAN N E，RAINE L B，DROLLETTE E S，et al. The differential relationship of an afterschool physical activity intervention on brain function and cognition in children with obesity and their normal weight peers［J］. Pediatr Obes，2021，16（2）：e12708. DOI：10.1111/ijpo.12708.

[38] SHUKLA D，AL-SHAMIL Z，BELFRY G，et al. A single bout of moderate intensity exercise improves cognitive flexibility：evidence from task-switching［J］. Exp Brain Res，2020，238（10）：2333-2346. DOI：10.1007/s00221-020-05885-w.

[39] 李艳玮，李燕芳. 儿童青少年认知能力发展与脑发育［J］. 心理科学进展，2010，18（11）：1700-1706.

[40] 杨椅，王坤，刘恒旭，等. 有氧运动对老年轻度认知障碍患者认知功能的改善［J］. 中国组织工程研究，2022，26（29）：4716-4722.

[41] DIAMOND A. Close interrelation of motor development and cognitive development and of the cerebellum and prefrontal cortex［J］. Child Dev，2000，71（1）：44-56. DOI：10.1111/1467-8624.00117.

[42] CAREY J R，BHATT E，NAGPAL A. Neuroplasticity promoted by task complexity［J］. Exerc Sport Sci Rev，2005，33（1）：24-31.

[43] MEEUSEN R，PIACENTINI M F，DE MEIRLEIR K. Brain microdialysis in exercise research[J]. Sports Med，2001，31(14)：965-983. DOI：10.2165/00007256-200131140-00002.

[44] WANG H X，YANG Y F，XU J F，et al. Meta-analysis on the effects of moderate-intensity exercise intervention on executive functioning in children［J］. PLoS One，2023，18（2）：e0279846. DOI：10.1371/journal.pone.0279846.

（收稿日期：2023-12-10；修回日期：2024-01-28）

（本文编辑：康艳辉）